

## II 自然現象の予測について

1. 地震動の予測について

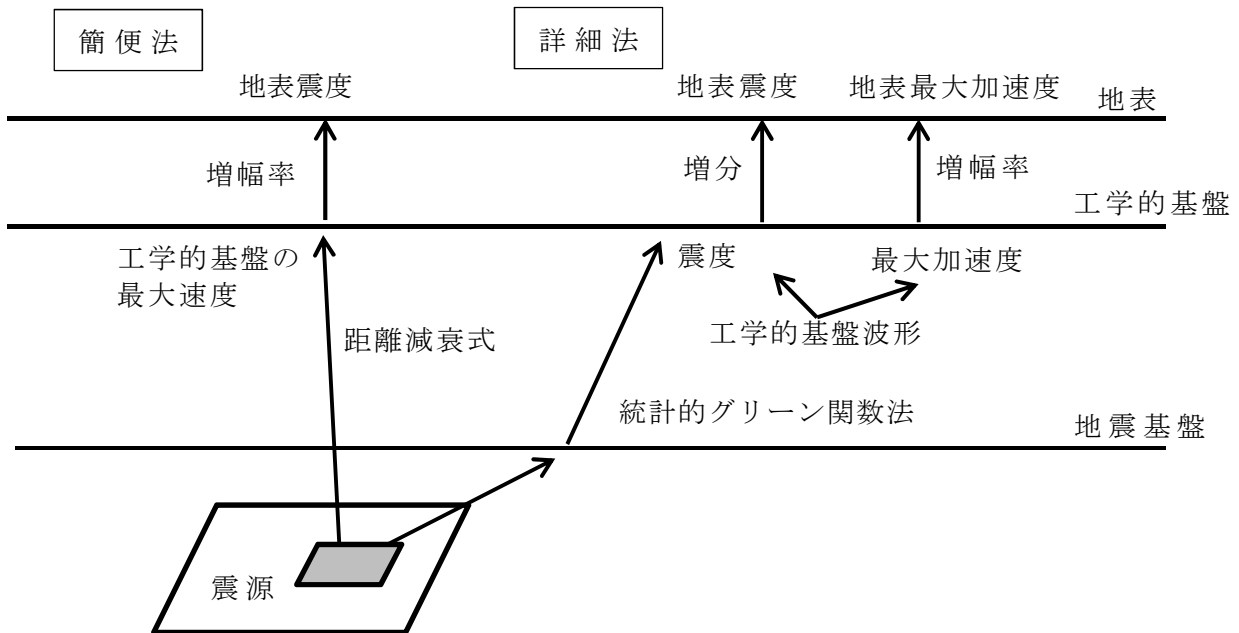
1.1 地震動の計算手法について

表II.1.1-1に、主な地震動評価手法の比較を示した。作成した深部地盤モデル、浅部地盤モデルをそれぞれ用いて、工学的基盤の地震動および地表の地震動の2段階で評価する。ここでは、基本的に統計的グリーン関数法による工学的基盤波形を作成し、得られた工学的基盤波形から工学的基盤の計測震度及び最大加速度を求め、増分又は増幅率を考慮して地表震度及び地表最大加速度等を計算する方法を採用した。津波災害を考慮した茨城県沖から房総半島沖にかけての地震については簡便法（距離減衰式に基づく方法）を用いて地表震度を計算した。

表II.1.1-1 主な地震動評価手法の比較

評価手法	地震動評価手法の特徴	○利点と×欠点	諸特性の扱い		
			震源	伝播	サイト
経験的手法	多数の地震観測記録を統計的に処理して求められた回帰モデルを用いて予測する手法	○観測値の平均的特性を反映した予測値が得られる ×震源域での破壊過程を反映することは難しい	統計	統計	統計
半経験的方法	グリーン関数法 予測地点で得られた中小地震観測記録を要素波とし、断層モデルの考え方に基づいてこれを多数重ね合わせて大地震の地震動を評価する方法	○震源の破壊過程とサイト固有の特性を反映した予測が可能 ×観測記録がないと評価できない	理論と観測	観測	観測
	統計的グリーン関数法 多数の地震観測記録を処理して求められた平均特性を有する要素波を作成し、断層モデルの考え方に基づいてこれを多数重ね合わせて大地震時を評価する手法。地盤増幅特性は別途考慮	○観測記録がなくても評価可能 ○震源の破壊過程を反映した予測が可能 ×サイト特性のうち盆地の影響の評価が難しい	理論と観測	統計	理論または統計
理論的方法	断層モデルの理論に基づいて震源特性を求め、地震波の伝播特性と表層地盤の増幅特性を弾性波動論により理論的に計算し評価する手法	○震源域での破壊過程および盆地の影響を反映したやや長周期域の地震動 ×多くの情報が必要 ×短周期帯域での地震動の評価は困難	理論	理論	理論または統計
リッド法	長周期帯域は理論的方法、短周期帯域は半経験的方法で求め、それらを合成する方法。それぞれの寄与は中間的な周期(=マッチング周期)でフィルターして足し合わせる	○それぞれの手法に適した周期帯域を利用した広周期帯域の強震動予測が行える ×マッチング周期の選択が重要	理論(長)観測または統計(短)	理論(長)観測または統計(短)	理論または統計(長)観測または理論または統計(短)

日本建築学会：地盤震動－現象と理論－より抜粋



図II.1.1-1 地震動予測の概念図

(1) 詳細法（波形計算に基づく方法）

深部地盤モデル、浅部地盤モデルを用い、工学的基盤の地震動および地表の地震動の2段階で評価する。

震源～工学的基盤の地震動予測計算

工学的基盤の地震動は、統計的グリーン関数法により計算する（水平2成分、上下1成分）。統計的グリーン関数法の諸条件については、内閣府や地震本部による計算方法を参考にしながら検討した。

工学的基盤～地表の地震動計算

地表の地震動は、震度増分・地盤増幅度を用いた手法により計算を行った。

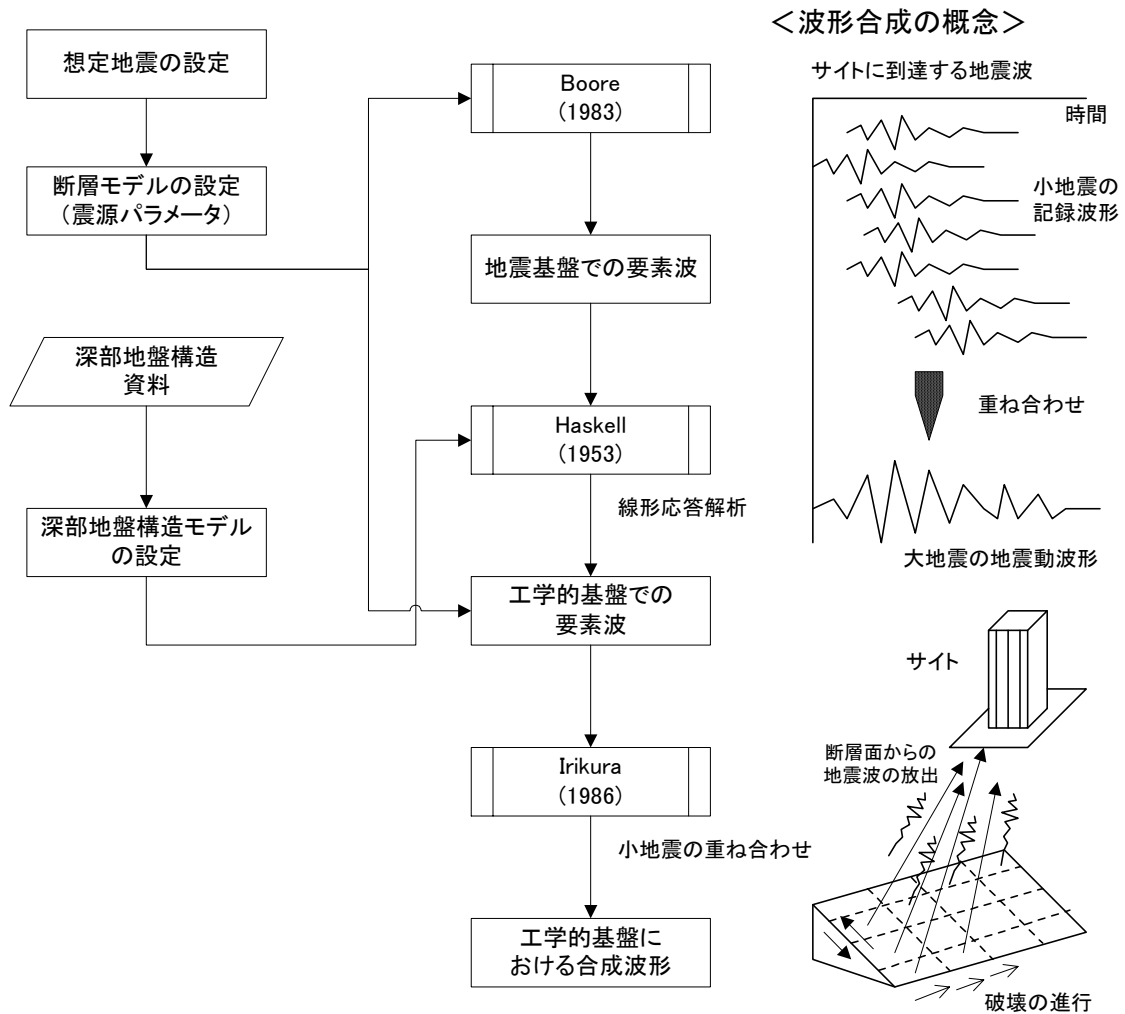


図 II.1.1-2 統計的グリーン関数法による地震動予測

## 1) 統計的グリーン関数法について

Boore(1983)に準拠した地震基盤における要素波をSV波、SH波それぞれについて作成し、入倉ほか(1997)による方法で波形合成を行った。ここで、地震基盤から工学的基盤までの地盤増幅は、SV波、SH波それぞれの斜め入射により評価し、座標回転によりNS成分、EW成分、UD成分の3成分の波形を計算した。なお、理論ラディエーション係数を算出するための射出角および非弾性減衰を算出するための走時については、球殻モデルによる計算値を用いた。以下に要素波の計算条件、波形合成の条件を示す。

## ・要素波の計算条件

Boore (1983) に準拠し、地震基盤における要素波をSV波、SH波それぞれについて作成する。まず、周波数 $f$ に関する加速度振幅スペクトル $A(f)$ を設定する。

$$A(f) = \frac{R_{\theta\phi}(f)}{4\pi\rho\beta^3} \cdot \frac{M_0 \cdot (2\pi f)^2}{1 + (f/f_c)^2} \cdot \frac{1}{[1 + (f/f_{\max})^{2s}]^{1/2}} \cdot \frac{\exp(-\pi f t_t/Q)}{R + C} \cdot \sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_b\beta_b}}$$

ここで、 $R_{\theta\phi}$  はラディエーション係数、 $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] および $\beta$ は震源における密度およびS波速度を表す。 $M_0$  [N·m] は地震モーメント、 $f_c$  [Hz] はコーナー周波数であり、 $f_{\max}$  [Hz] はハイカットフィルターの遮断周波数を表し、係数 $s$ はフィルターの次数を表す。 $Q$  は非弾性減衰定数であり、 $t_t$  [s] および $R$  [km] はそれぞれ、震源からサイト直下の地震基盤までの走時および距離を表す。また、 $\rho_b, \beta_b$  はそれぞれ、地震基盤における密度およびS波速度である。 $C$  は震源近傍で振幅値を飽和させるための定数であり、内閣府(2012)による18 kmを用いた。

高周波遮断周波数 $f_{\max}$  は鶴来・他(1997)を参考に6 Hzに設定し、次数 $s$ は2を用いた。また、コーナー周波数 $f_c$  はBrune(1970)に基づき、次式で算出した。

$$f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$$

非弾性減衰定数 $Q$ は、周波数依存性として以下のように与えた。

$$Q(f) = \begin{cases} 100f^{0.7} & f \geq 1 \\ 100 & f < 1 \end{cases}$$

要素波は、 $A(f)$ の振幅に一樣乱数で位相を与え、Boore (1983)による時刻 $t$ に関する包絡関数 $w(t)$ を乗じて作成した。

$$w(t) = at^b e^{-ct} H(t)$$

ただし、

$$a = (e/\epsilon T_w)^b$$

$$b = \epsilon \ln \eta / [1 + \epsilon (\ln \epsilon - 1)]$$

$$c = b/\epsilon T_w$$

とする。ここで、 $H(t)$ は単位ステップ関数、 $T_w$  [s]は継続時間を表す。Boore (1983)に準じ、 $T_w$ は破壊継続時間 $T_d = f_c^{-1}$  [s]の2倍を用いた。また、 $\epsilon = 0.2, \eta = 0.05$ を用いた。

次に、ラディエーション係数 $R_{\theta\phi}(f)$ について、周波数では理論放射係数 $R_{\theta\phi 0}$ 、高周波数では平均化された放射係数 $R_{\theta\phi m}$ となるように、次式の香川(2004)による方法を用いた。

$$R_{\theta\phi} = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{\theta\phi_0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{\theta\phi_m}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$$

ここでは  $f_1 = 0.25\text{Hz}$ ,  $f_2 = 2\text{Hz}$  とし、高周波数での平均化された  $R_{\theta\phi_m}$  は大西・堀家(2004)により算出した。

震源からサイト直下の地震基盤までの走時  $t_t$  および射出角については、笠原(1985)を参考にした球殻モデルにより算出される値を用いた。球殻モデルのS波構造は、モホ面深さ  $M$  を 32[km]、地表からの深さを  $H$  [km] として以下のように設定した。

$$V_s = 3.2 \times \left( \frac{R_0 - H}{R_0} \right)^{-60} \quad H < M$$

$$V_s = 4.475 \times \left( \frac{R_0 - H}{R_0 - M} \right)^{-3} \quad H \geq M$$

ここで、球殻モデルの半径  $R_0$  は 6371[km] とした。

最後に、波形合成に用いる要素波に関する一様乱数列（以下、シードと呼ぶ）は、香川(2004)を参考に、変位波形がベル型となるという条件を採用した。

#### ・波形合成の条件

SV波、SH波それぞれに、サイト直下の地盤構造を用いた平面波斜め入射による地盤増幅係数を乗じ、Radial および Transverse 成分から NS および EW 成分への座標回転を考慮した後、入倉ほか(1997)による補正関数を用いて波形合成を行った。

$$U(f) = \sum_m^{N_L} \sum_n^{N_W} e^{-i2\pi f t_{mn}} \left\{ \left( 1 + \frac{1}{n'(1-e^{-1})} \right) \sum_{k=1}^{(N_D-1)n'} e^{-\frac{k-1}{(N_D-1)n'}} e^{-i2\pi f \frac{(k-1)\tau}{(N_D-1)n'}} \right\} u_{mn}(f)$$

ここで、 $U(f)$  は波形合成後のサイトの加速度フーリエスペクトルであり、 $u_{mn}(f)$  は要素断層によるサイトの加速度フーリエスペクトルである。 $t_{mn}$  は破壊開始時刻からサイトに到達するまでの時間であり、球殻モデルによる走時と破壊開始点から要素断層までの破壊伝播時間の和で表される。 $N_L, N_W, N_D$  はそれぞれ長さ方向、幅方向、すべり方向の分割数であり、 $\tau$ [s] はライズタイム、 $n'$  は重ね合わせによる人工的な周期特性を有効周波数より高い周波数側に移動させる再分割数である。

#### 2) 工学的基盤の震度について

統計的グリーン関数法により、工学的基盤の水平2成分、上下1成分の地震波形が計算される。気象庁の震度算出の考え方に則って工学的基盤における計測震度を算出する。

#### 3) 震度増分について

工学的基盤の計測震度から浅部地盤の震度増分を加えて地表の計測震度を求める。この震度増分は、横田他(2005)による震度増分の考え方によった。

$$\Delta I = 2.888 - 1.015 \cdot \log AVS_{30}$$

ここで、

$\Delta I$  : 震度増分 ( $V_s=700\text{m/s}$  相当層)

$AVS_{30}$  : 地表から地下 30m までの平均 S 波速度 (m/s)

工学的基盤のせん断波速度を  $350\text{m/s} \sim 900\text{m/s}$  の範囲で設定しており、場所によって異なっている。そこで、基盤速度の違いによる補正を考え、以下の式で震度増分を設定した。

$$\Delta I = 1.015 \cdot \log(V_{\text{base}}) - 1.015 \cdot \log AVS_{30}$$

ここで、

$V_{\text{base}}$  : 工学的基盤のせん断波速度 (m/s)

とする。

## (2) 簡便法 (距離減衰式に基づく方法)

「全国地震動予測地図」作成手法の検討 (防災科学技術研究所, 2009) に準じ、司・翠川 (1999) による距離減衰式から工学的基盤速度を算出し、地盤モデルによる  $AVS_{30}$  から最大速度増幅率を乗じ地表の最大速度を算出する。その後、最大速度と計測震度の関係式により地表の震度を求める。

### ● 工学的基盤上面の最大速度 司・翠川 (1999)

$$\log PGV_b = 0.58M_w + 0.0038D + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \cdot 10^{0.5M_w}) - 0.002X + \varepsilon$$

ここで、

$PGV_b$  : 工学的基盤上面 ( $V_s=600 \text{ cm/s}$  相当) の最大速度 (cm/s)

$M_w$  : モーメントマグニチュード

$D$  : 震源深さ (km)

$X$  : 断層最短距離 (km)

$d$  : 断層タイプによる係数

内陸地殻内 0.00, プレート境界 -0.02, プレート内 0.12

$\varepsilon$  : 標準偏差 0.23

とする。赤字の減衰項の係数について、内閣府では 0.0027 を用いている。

### ● 地表の最大速度と速度増幅率 藤本・翠川 (2006)

$$PGV = \text{amp}V \cdot PGV_b$$

$$\log \text{amp}V = 2.367 - 0.852 \cdot \log AVS_{30}$$

ここで、

$PGV$  : 地表面の最大速度 (cm/s)

$\text{amp}V$  :  $V_s 600 \text{ cm/s}$  を基準とした最大速度増幅率

とする。

工学的基盤のせん断波速度を  $350\text{m/s} \sim 500\text{m/s}$  の範囲で設定しており、場所によって異なっている。そこで、基盤速度の違いによる補正を考え、以下の式で増幅率を設定した。

$$\log \text{amp} = 0.852 \cdot \log(V_{\text{base}}) - 0.852 \cdot \log AVS_{30}$$

ここで、

$amp$  : 工学的基盤のせん断波速度に対する最大速度増幅率

$Vsbase$  : 工学的基盤のせん断波速度 (m/s)

とする。

- 最大速度と計測震度の関係 藤本・翠川(2005) 地殻内地震に適用

$$I = 2.002 + 2.603 \cdot \log PGV - 0.213 \cdot (\log PGV)^2 \quad (4 \leq I)$$

$$I = 2.165 + 2.262 \cdot \log PGV \quad (I < 4)$$

ここで、

$I$  : 地表の計測震度

$PGV$  : 地表面の最大速度 (cm/s)

とする。

- 最大速度と計測震度の関係 翠川他(1999) 海溝型地震に適用

$$I = 2.68 + 1.72 \cdot \log PGV$$

その他の地震動の指標としては、最大加速度と SI 値がある。これらは以下のように求めた。

- 工学的基盤上面の最大加速度 司・翠川(1999)

$$\log PGA_b = 0.50M_w + 0.0043D + d + 0.61 - \log(X + 0.0055 \cdot 10^{0.5M_w}) - 0.002X + \varepsilon$$

ここで、

$PGA_b$  : 工学的基盤上面 ( $V_s=600$  cm/s 相当) の最大加速度 (cm/s)

$M_w$  : モーメントマグニチュード

$D$  : 震源深さ (km)

$X$  : 断層最短距離 (km)

$d$  : 断層タイプによる係数

内陸地殻内 0.00, プレート境界 0.01, プレート内 0.22

$\varepsilon$  : 標準偏差 0.27 (全データ)、0.25 ( $D \leq 100$ km)

とする。

- 地表の最大加速度と加速度増幅率 藤本・翠川(2006)

$$PGA = ampA \cdot PGA_b$$

$$\log ampA = b \cdot \log (AVS_{30}/Vsbase)$$

ここで、

$PGA$  : 地表面の最大加速度 (cm/s)

$ampA$  : 工学的基盤のせん断波速度に対する最大速度増幅率

$Vsbase$  : 工学的基盤のせん断波速度 (m/s)

$b$  : -0.773 ( $\gamma < 3 \times 10^{-4}$ )

2.042 + 0.799  $\times$  log  $\gamma$  ( $\gamma \geq 3 \times 10^{-4}$ )

$\gamma : 0.4 \times PGV/AVS_{30}$   
とする。

● SI値 童・山崎(1996)

童・山崎(1996)による、計測震度と SI 値の関係と計測震度と最大速度(PGV)の関係より、SI 値と PGV の関係を導いた。

$$SI = 1.18 \cdot PGV$$



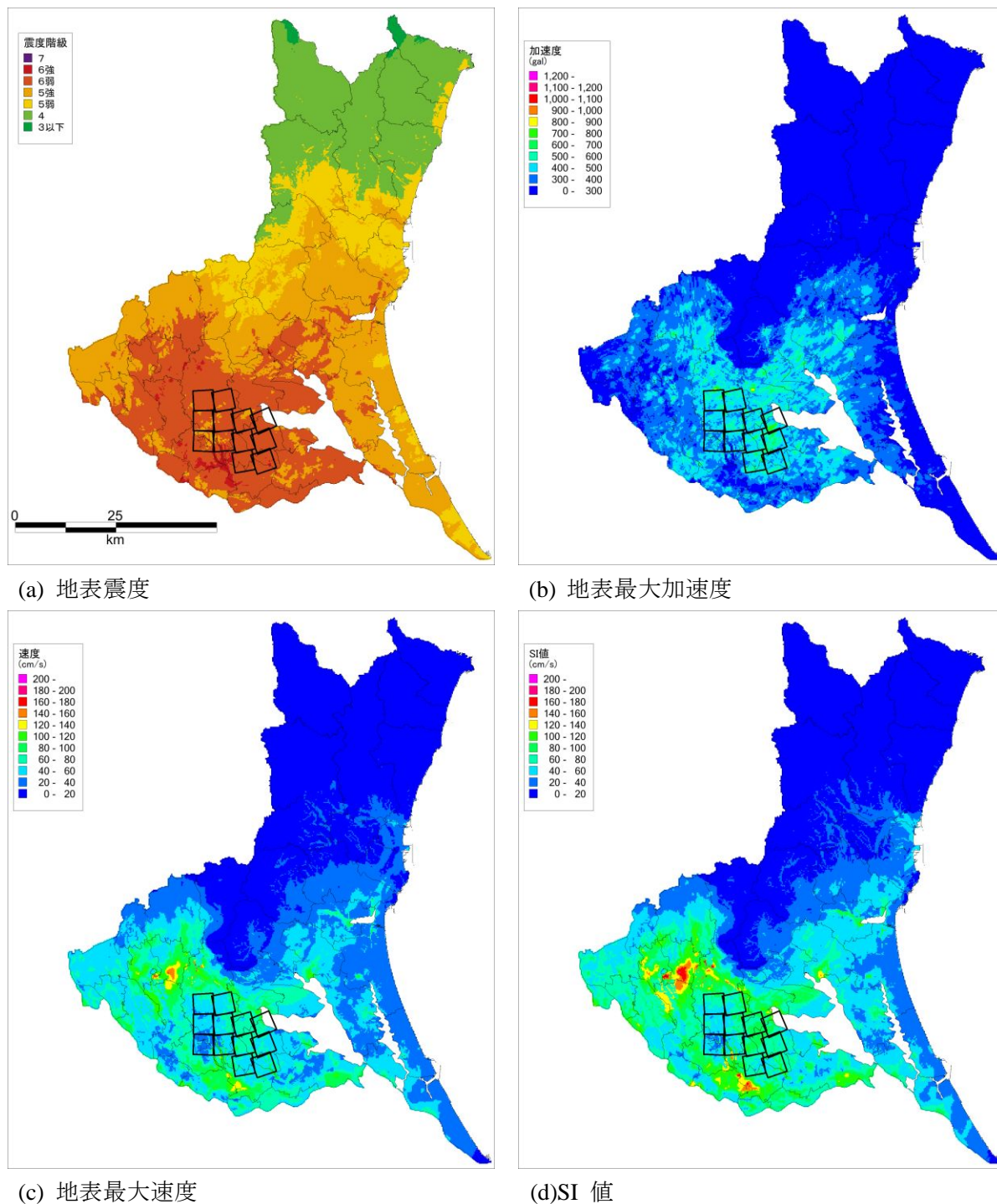
1.2 地震動の予測結果

想定地震に対して地震動予測手法を用いて、地震動予測を行った。地震別の市町村最大震度を表 II .1.2-1 に示す。

表 II .1.2-1 地震別の市町村最大震度

地震名 市町村名	①茨城県南部	②茨城・埼玉県境	③F1断層	④棚倉破砕帯	⑤太平洋プレート(北部)	⑥太平洋プレート(南部)	⑦茨城県沖～房総半島沖
水戸市	6弱	5強	5強	6弱	6強	6弱	6弱
日立市	5強	5弱	7	6弱	6強	5強	6弱
土浦市	6弱	6弱	4	4	6弱	6弱	6弱
古河市	6弱	6強	4	4	5弱	5強	5強
石岡市	6強	6弱	5弱	5弱	6弱	6弱	6弱
結城市	6弱	6強	4	4	5強	5強	5強
龍ヶ崎市	6強	6弱	4	4	5強	6弱	6強
下妻市	6強	6強	4	4	5強	5強	6弱
常総市	6強	6強	4	4	5強	5強	6弱
常陸太田市	5強	5弱	6強	6強	6弱	5強	6弱
高萩市	5弱	4	7	5強	6弱	5強	6弱
北茨城市	5弱	4	7	5強	6弱	5弱	6弱
笠間市	6弱	5強	5弱	5強	6弱	6弱	5強
取手市	6強	6弱	4	4	5強	6弱	6強
牛久市	6強	6弱	4	4	5強	6弱	6弱
つくば市	6強	6強	4	5弱	6弱	6弱	6強
ひたちなか市	6弱	5強	5強	5強	6強	6弱	6弱
鹿嶋市	5強	5強	4	4	6弱	6弱	6強
潮来市	6弱	5強	4	4	5強	6強	6強
守谷市	6強	6弱	4	4	5強	6弱	6弱
常陸大宮市	5強	5弱	6弱	7	6弱	5強	5強
那珂市	5強	5弱	6弱	6弱	6弱	5強	6弱
筑西市	6弱	6弱	4	5弱	5強	5強	5強
坂東市	6強	6強	4	4	5強	5強	6弱
稲敷市	6強	6弱	4	4	6弱	6強	6強
かすみがうら市	6強	6弱	5弱	5弱	6弱	6弱	6弱
桜川市	6弱	6弱	4	5弱	6弱	6弱	5強
神栖市	5強	5弱	4	4	5強	6弱	6強
行方市	6弱	5強	4	4	6弱	6強	6強
鉾田市	6弱	5強	5弱	5弱	6弱	6強	6弱
つくばみらい市	6強	6弱	4	4	5強	6弱	6弱
小美玉市	6弱	5強	5弱	5弱	6弱	6弱	6弱
茨城町	6弱	5強	5弱	5強	6強	6弱	6弱
大洗町	6弱	5強	5弱	5強	6強	6弱	6弱
城里町	5強	5弱	5強	6弱	6弱	5強	5強
東海村	5強	5弱	6弱	6弱	6強	5強	6弱
大子町	5弱	4	5強	6強	5強	5弱	5弱
美浦村	6弱	6弱	4	4	6弱	6弱	6強
阿見町	6弱	6弱	4	4	5強	6弱	6弱
河内町	6弱	6弱	4	4	5強	6強	6強
八千代町	6弱	6強	4	4	5強	5強	6弱
五霞町	6弱	6強	4	4	5強	5強	6弱
境町	6弱	6強	4	4	5強	5強	6弱
利根町	6弱	6弱	4	4	5強	6弱	6強

図II .1.2-1～図II .1.2-7に想定地震ごとに震度、地表最大加速度、地表最大速度、SI 値を示す。



図II .1.2-1 地震動計算結果

茨城県南部地域で発生するM7クラスの地震（茨城県南部の地震（プレート境界））

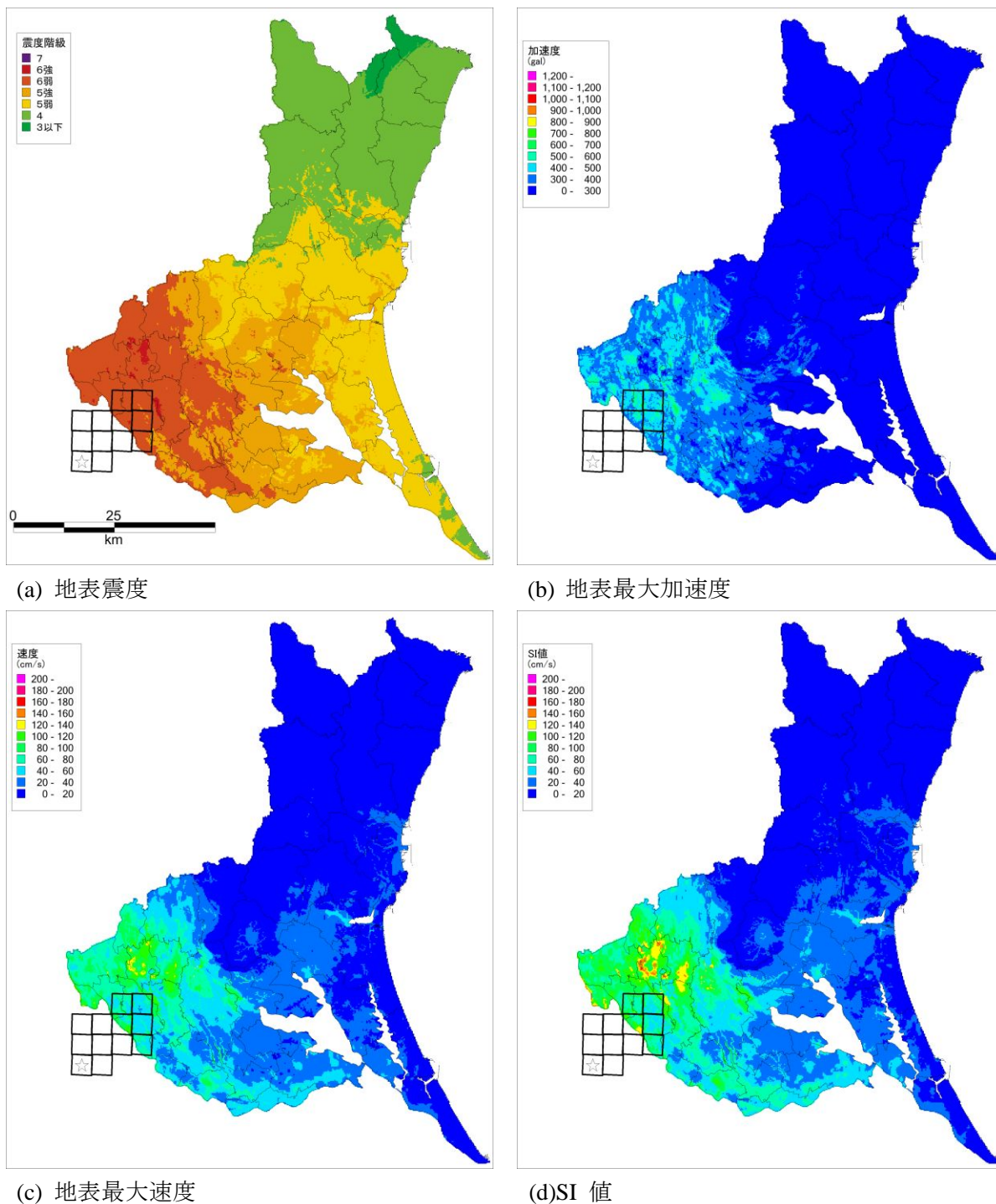
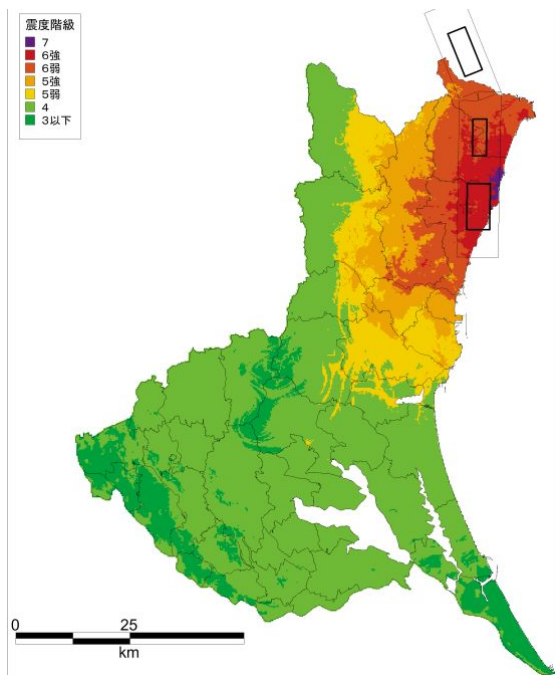


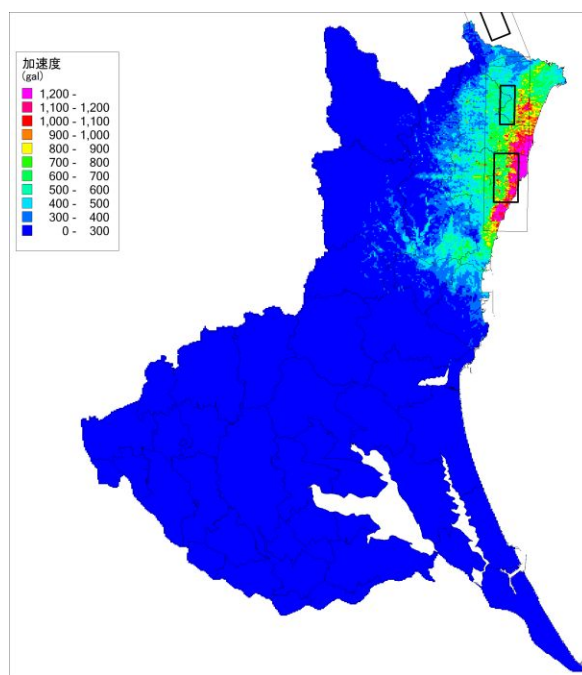
図 II.1.2-2 地震動計算結果

茨城県南部地域で発生するM7クラスの地震（茨城・埼玉県境の地震（プレート境界））

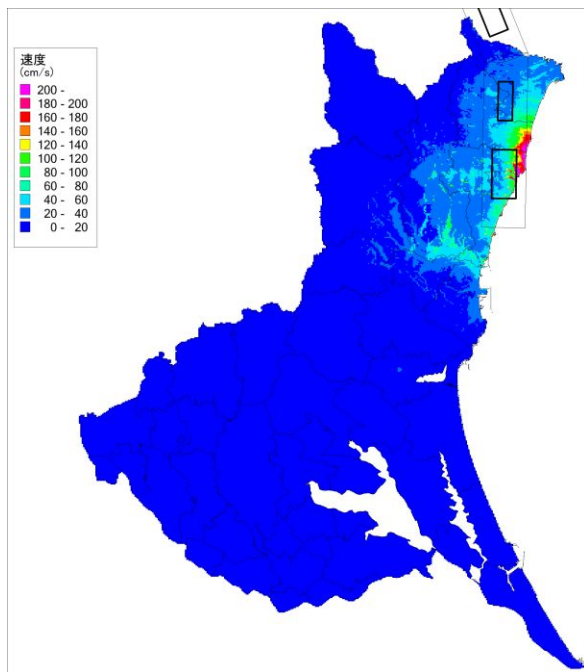




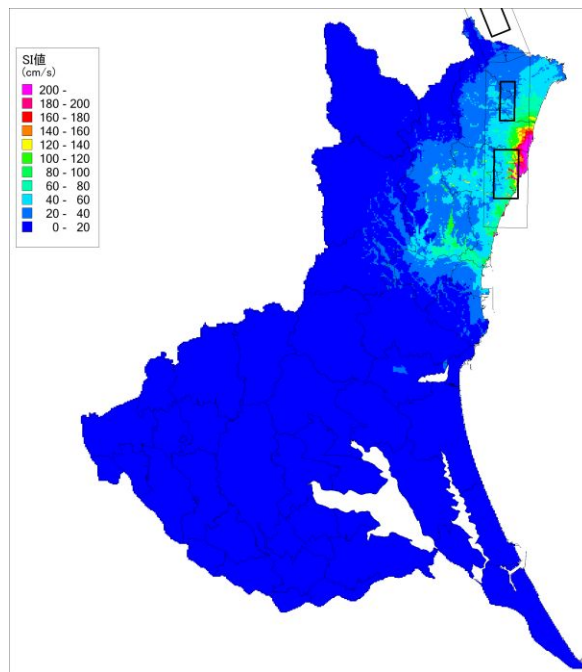
(a) 地表震度



(b) 地表最大加速度



(c) 地表最大速度



(d) SI 値

図 II. 1. 2-3 地震動計算結果

F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震（円形破壊面を仮定しないケース）

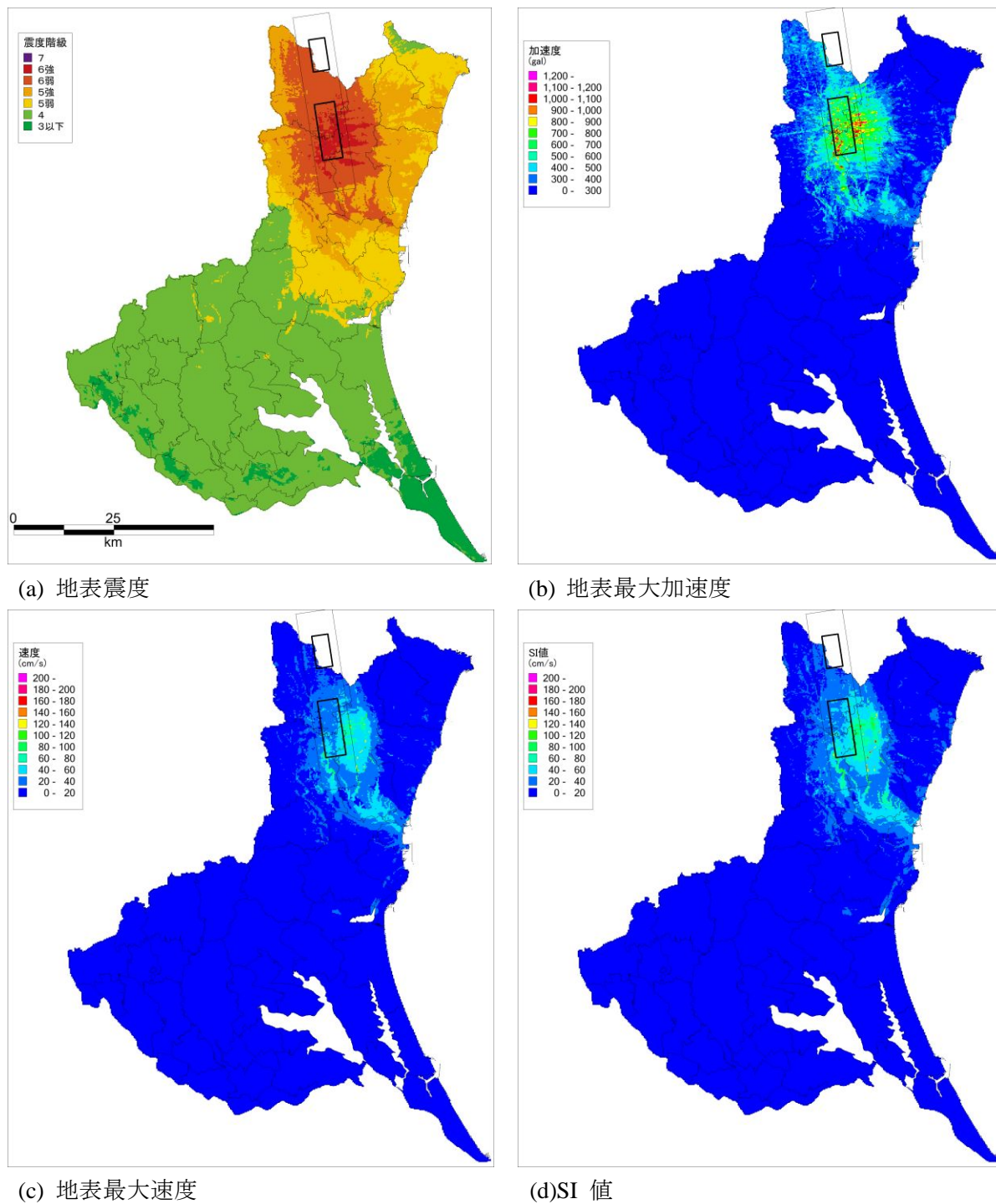
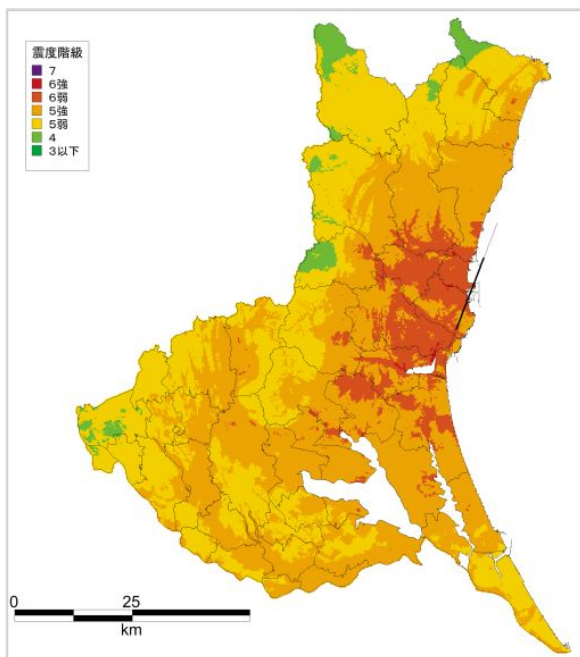
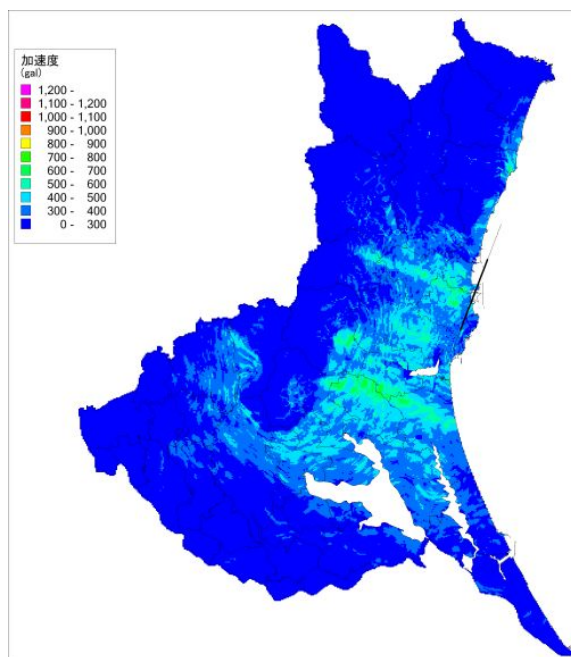


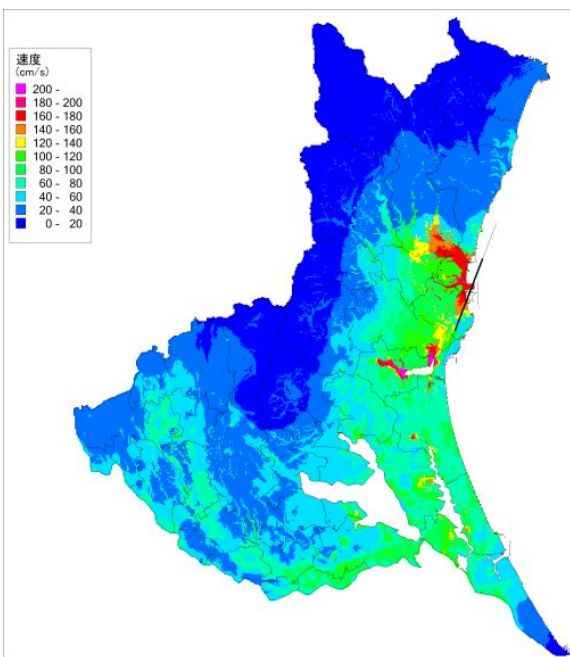
図 II.1.2-4 地震動計算結果  
棚倉破碎帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震



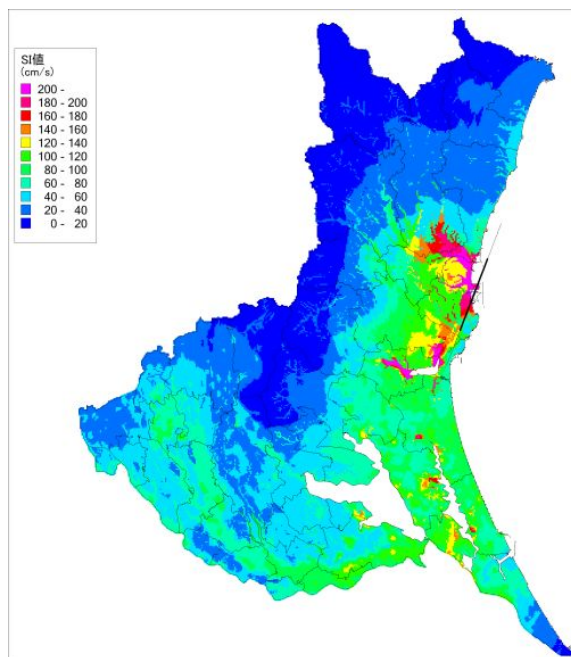
(a) 地表震度



(b) 地表最大加速度



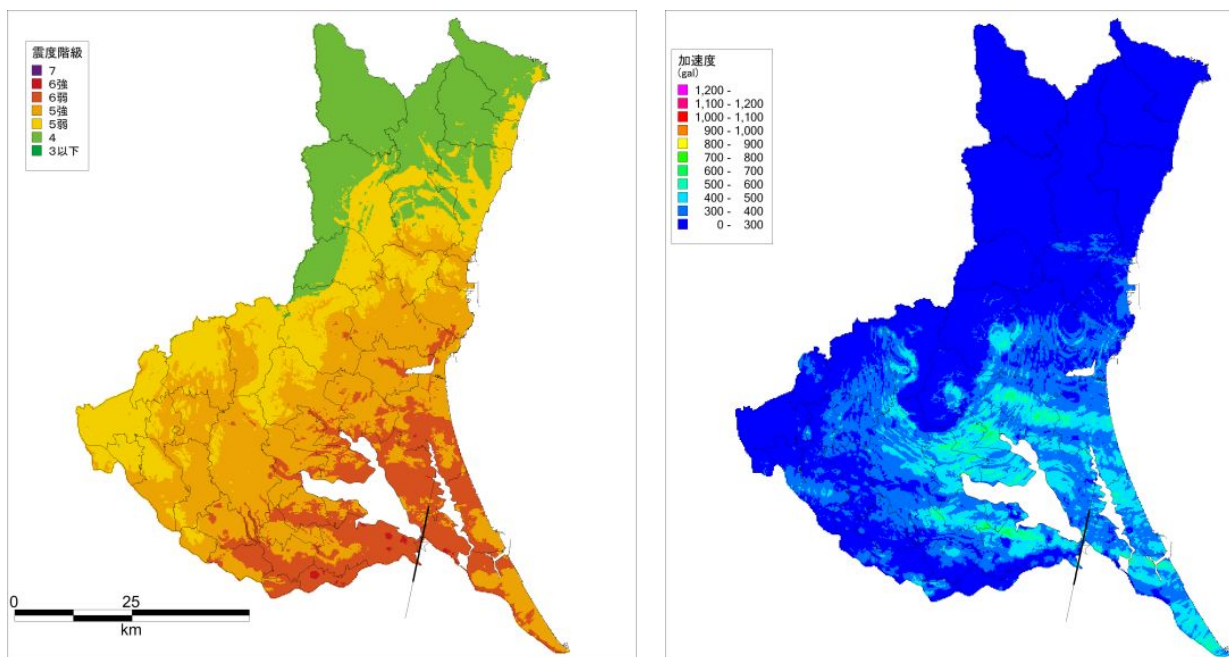
(c) 地表最大速度



(d) SI 値

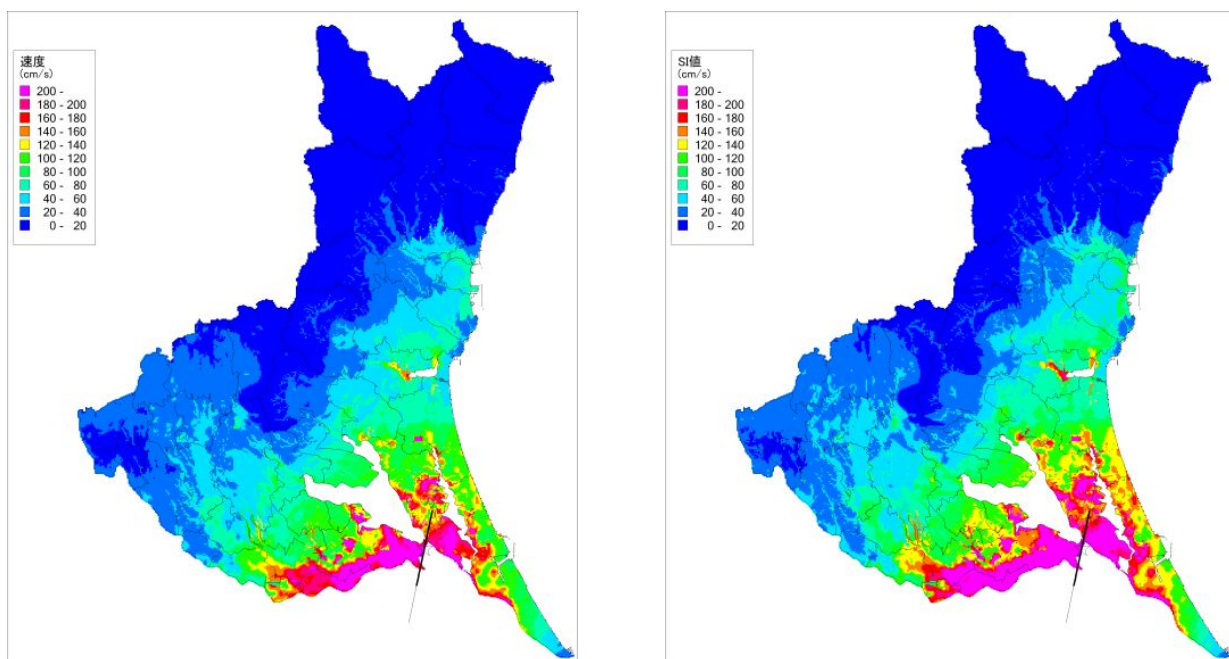
図 II.1.2-5 地震動計算結果  
太平洋プレート内の地震：県北部（南部）鉛直





(a) 地表震度

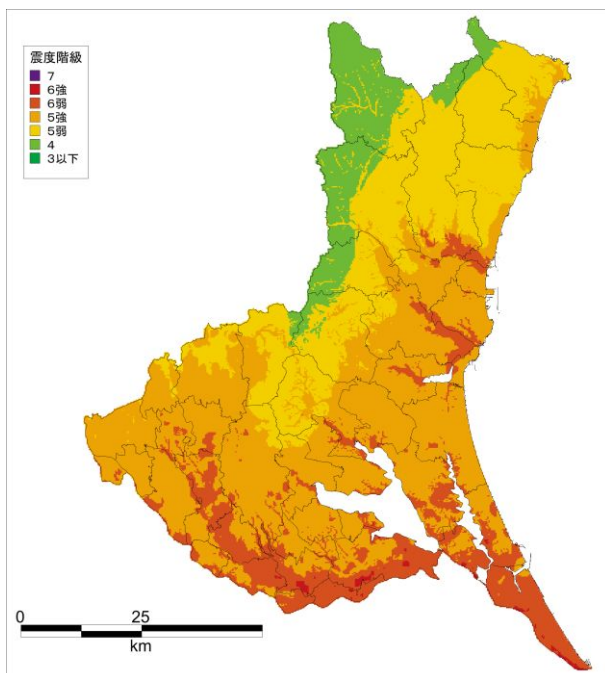
(b) 地表最大加速度



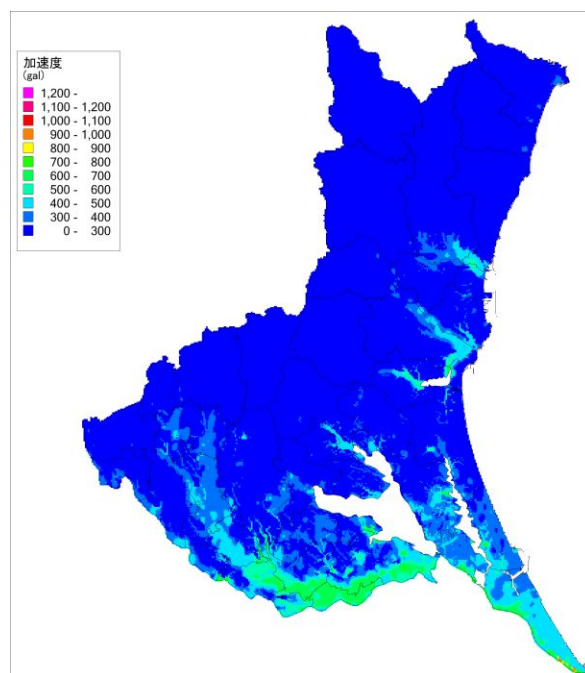
(c) 地表最大速度

(d) SI 値

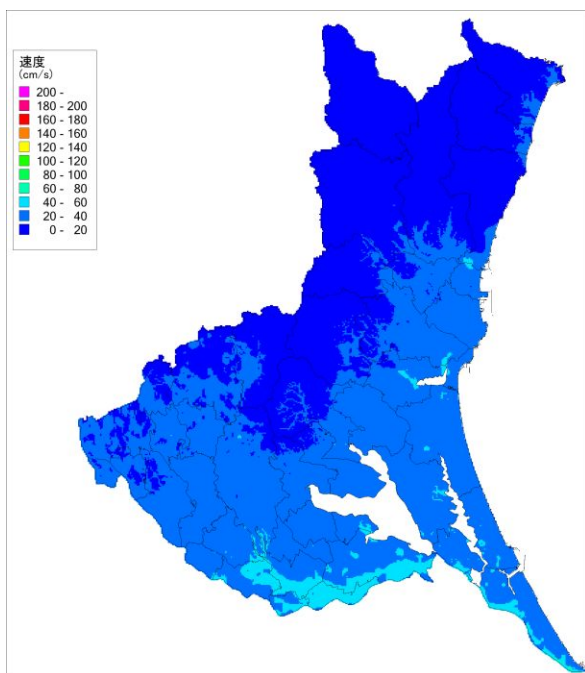
図 II . 1 . 2 - 6 地震動計算結果  
太平洋プレート内の地震：県南部（南部）鉛直



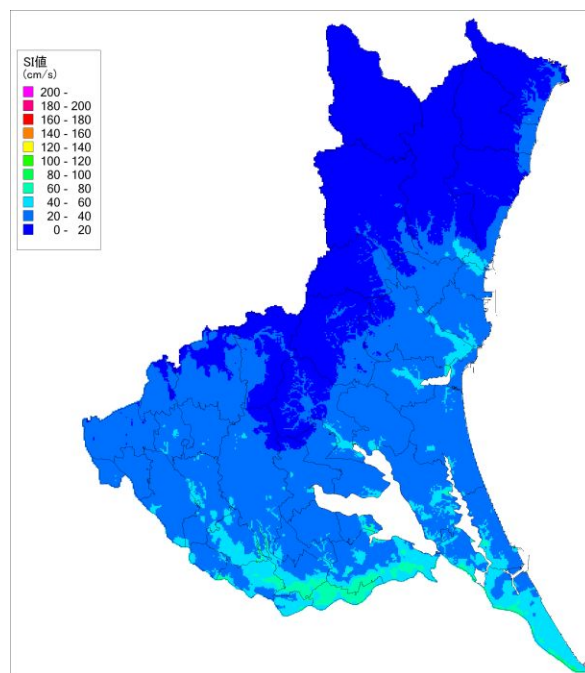
(a) 地表震度



(b) 地表最大加速度



(c) 地表最大速度



(d) SI 値

図 II. 1. 2-7 地震動計算結果  
茨城県沖から房総半島沖にかけての地震



1.3 その他の地震動の予測

被害想定は行わないが、液状化手法の検討、広域連携シナリオなどの検討に用いるために、表 II .1.3-1 に示す地震動について検討を行った。

表 II 1.3-1 その他の地震動の予測の概要

地震名	地震規模	想定の見点	地震動評価法	参考モデル
2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0	液状化手法の検討	面的震度	
相模トラフ沿いのM8クラスの地震	M8クラス	広域連携シナリオ検討	簡便法	内閣府(2013)
地殻内一律Mw6.8の地震	Mw6.8	シナリオ地震の補完	簡便法	内閣府(2013)

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震 ( Mw9.0 )

平成23年3月11日14時46分に発生した地震の震源及び規模等を表 II .1.3-2及び図 II .1.3-1 (気象庁(2012)より抜粋) に示す。

表 II 1.3-2 2011年東北地方太平洋沖地震の震源及び規模等

地震発生時刻	平成23年3月11日14時46分
発生場所(震源位置)	北緯38度06.2分、東経142度51.6分、深さ24km
規模(マグニチュード)	9.0 (モーメントマグニチュード)
最大震度	7
発震機構	西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型 (CMT解)

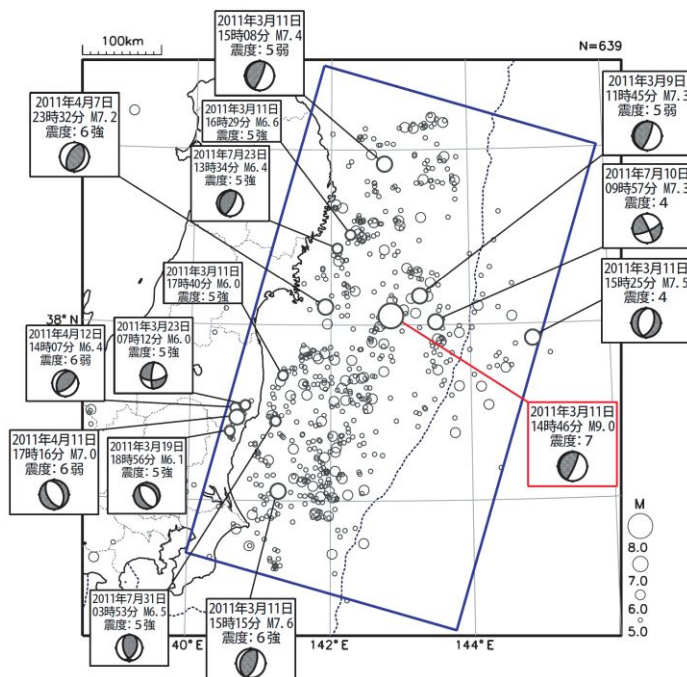
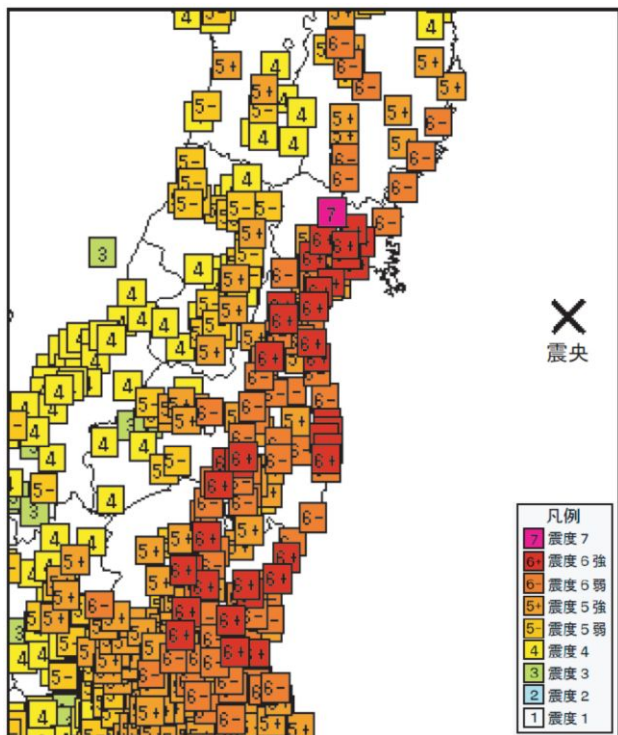


図 II .1.3-1 東北地方太平洋沖地震とその余震 (気象庁(2012)より)

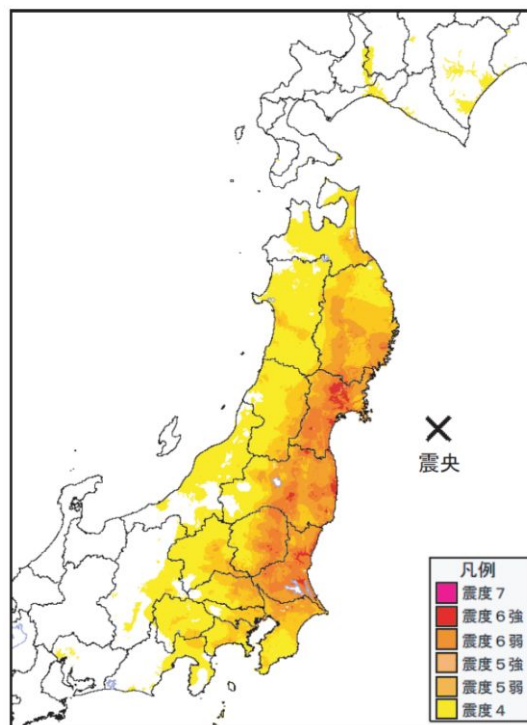
2011年3月1日～2012年2月29日、深さ0～90km、M ≥ 5.0。図中の吹き出しは矩形領域内で発生したM7.0以上の地震とM6.0以上で震度5強以上を観測した地震。

II 自然現象の予測について  
1. 地震動の予測について

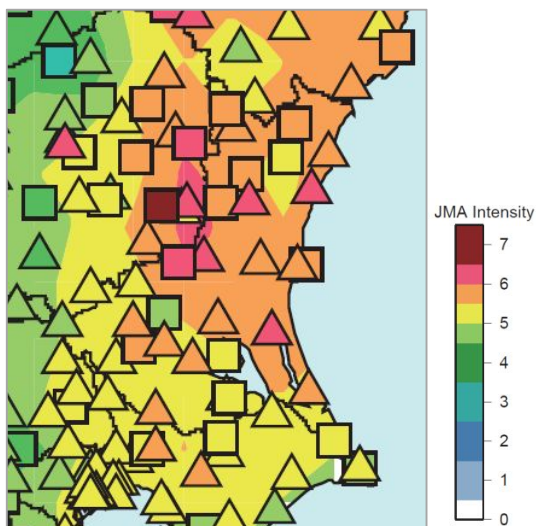
気象庁(2012)による市町村ごとの震度分布を図II.1.3-2に示す。これらの震度分布を用いて気象庁が推計した面的震度分布を図II.1.3-3に示し、茨城県の拡大図を図II.1.3-5に示す。また、防災科学技術研究所による本震の計測震度分布を図II.1.3-4に示す。観測点ごとの震度及び計測震度を表II.1.3-3にまとめ、これらを地図に落とした図を図II.1.3-6に示す。



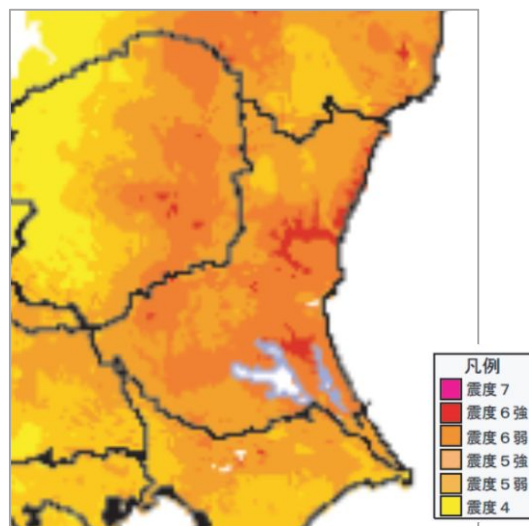
図II.1.3-2 3月11日14時46分に発生した本震(M9.0, 最大震度7)の市町村ごとの震度分布(気象庁(2012))



図II.1.3-3 3月11日14時46分に発生した本震(M9.0, 最大震度7)の推計震度分布(気象庁(2012))



図II.1.3-4 計測震度分布  
防災科学技術研究所による



図II.1.3-5 図II.1.3-3の茨城県の拡大図

表Ⅱ.1.3-3 東北地方太平洋沖地震の震度(1)

市町村名		観測点名		震度	計測震度
日立市	日立市助川小学校	日立市	日立市役所	6強	6.4
銚田市	銚田市当間	土浦市	土浦市常名	6強	6.4
那珂市	那珂市瓜連	取手市	取手市井野	6強	6.2
小美玉市	小美玉市上玉里	美浦村	美浦村受領	6強	6.1
日立市	日立市十王町友部	筑西市	筑西市門井	6強	6.0
高萩市	高萩市本町	銚田市	銚田市銚田	6強	6.0
笠間市	笠間市中央	日立市	日立市役所	6強	6.0
常陸大宮市	常陸大宮市北町	那珂市	那珂市福田	6強	6.0
筑西市	筑西市舟生	小美玉市	小美玉市堅倉	6強	6.0
常陸太田市	常陸太田市高柿町	石岡市	石岡市柿岡	6弱	5.9
高萩市	高萩市安良川	石岡市	石岡市石岡	6弱	5.9
笠間市	笠間市石井	つくば市	つくば市天王台	6弱	5.9
城里町	城里町石塚	鹿嶋市	茨城鹿嶋市鉢形	6弱	5.9
城里町	城里町阿波山	潮来市	潮来市辻	6弱	5.9
つくば市	つくば市荻間	行方市	行方市玉造	6弱	5.9
銚田市	銚田市汲上	笠間市	笠間市下郷	6弱	5.9
水戸市	水戸市金町	常陸大宮市	常陸大宮市中富町	6弱	5.8
水戸市	水戸市中央	小美玉市	小美玉市小川	6弱	5.8
水戸市	水戸市内原町	鹿嶋市	茨城鹿嶋市宮中	6弱	5.8
ひたちなか市	ひたちなか市南神敷台	坂東市	坂東市山	6弱	5.8
ひたちなか市	ひたちなか市東石川	稲敷市	稲敷市結佐	6弱	5.8
常陸大宮市	常陸大宮市山方	かすみがうら市	かすみがうら市上土田	6弱	5.8
土浦市	土浦市下高津	行方市	行方市麻生	6弱	5.8
稲敷市	稲敷市役所	桜川市	桜川市岩瀬	6弱	5.8
行方市	行方市山田	桜川市	桜川市真壁	6弱	5.8
水戸市	水戸市千波町	銚田市	銚田市造谷	6弱	5.7
北茨城市	北茨城市磯原町	常総市	常総市新石下	6弱	5.7
茨城町	茨城町小堤	つくばみらい市	つくばみらい市加藤	6弱	5.7
東海村	東海村東海	大子町	大子町池田	6弱	5.7

※銚田市は気象庁が後日震度を取り下げた地点。

市町村名		観測点名		震度	計測震度
常陸大宮市	常陸大宮市野	常陸大宮市	常陸大宮市野	6弱	5.7
土浦市	土浦市常名	土浦市	土浦市常名	6弱	5.7
取手市	取手市井野	取手市	取手市井野	6弱	5.7
美浦村	美浦村受領	美浦村	美浦村受領	6弱	5.7
筑西市	筑西市門井	筑西市	筑西市門井	6弱	5.7
銚田市	銚田市銚田	銚田市	銚田市銚田	6弱	5.7
日立市	日立市役所	日立市	日立市役所	6弱	5.6
那珂市	那珂市福田	那珂市	那珂市福田	6弱	5.6
小美玉市	小美玉市堅倉	小美玉市	小美玉市堅倉	6弱	5.6
石岡市	石岡市柿岡	石岡市	石岡市柿岡	6弱	5.6
石岡市	石岡市石岡	石岡市	石岡市石岡	6弱	5.6
つくば市	つくば市天王台	つくば市	つくば市天王台	6弱	5.6
鹿嶋市	茨城鹿嶋市鉢形	鹿嶋市	茨城鹿嶋市鉢形	6弱	5.6
潮来市	潮来市辻	潮来市	潮来市辻	6弱	5.6
行方市	行方市玉造	行方市	行方市玉造	6弱	5.6
笠間市	笠間市下郷	笠間市	笠間市下郷	6弱	5.5
常陸大宮市	常陸大宮市中富町	常陸大宮市	常陸大宮市中富町	6弱	5.5
小美玉市	小美玉市小川	小美玉市	小美玉市小川	6弱	5.5
鹿嶋市	茨城鹿嶋市宮中	鹿嶋市	茨城鹿嶋市宮中	6弱	5.5
坂東市	坂東市山	坂東市	坂東市山	6弱	5.5
稲敷市	稲敷市結佐	稲敷市	稲敷市結佐	6弱	5.5
かすみがうら市	かすみがうら市上土田	かすみがうら市	かすみがうら市上土田	6弱	5.5
行方市	行方市麻生	行方市	行方市麻生	6弱	5.5
桜川市	桜川市岩瀬	桜川市	桜川市岩瀬	6弱	5.5
桜川市	桜川市真壁	桜川市	桜川市真壁	6弱	5.5
銚田市	銚田市造谷	銚田市	銚田市造谷	6弱	5.5
常総市	常総市新石下	常総市	常総市新石下	6弱	5.5
つくばみらい市	つくばみらい市加藤	つくばみらい市	つくばみらい市加藤	6弱	5.5
大子町	大子町池田	大子町	大子町池田	5強	5.4
常陸大宮市	常陸大宮市高部	常陸大宮市	常陸大宮市高部	5強	5.4

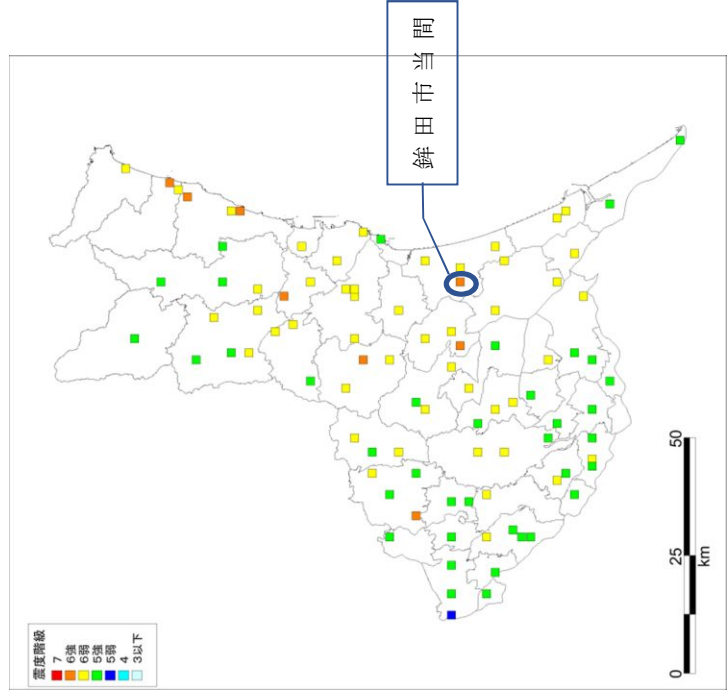
Ⅱ 自然現象の予測について  
1. 地震動の予測について



表Ⅱ.1.3-3 東北地方太平洋沖地震の震度(2)

表10 続き		震度	計測震度
市町村名	観測点名		
常陸大宮市	常陸大宮市上小瀬	5強	5.4
土浦市	土浦市藤沢	5強	5.4
石岡市	石岡市八郷	5強	5.4
下妻市	下妻市鬼怒	5強	5.4
取手市	取手市寺田	5強	5.4
取手市	取手市藤代	5強	5.4
河内町	河内町源清田	5強	5.4
筑西市	筑西市海老ヶ島	5強	5.4
かすみがうら市	かすみがうら市大和田	5強	5.4
桜川市	桜川市羽田	5強	5.4
常陸太田市	常陸太田市町田町	5強	5.3
結城市	結城市結城	5強	5.3
阿見町	阿見町中央	5強	5.3
坂東市	坂東市馬立	5強	5.3
稲敷市	稲敷市江戸崎甲	5強	5.3
稲敷市	稲敷市柴崎	5強	5.3
筑西市	筑西市下中山	5強	5.3
神栖市	神栖市溝口	5強	5.3
つくばみらい市	つくばみらい市福田	5強	5.3
常陸太田市	常陸太田市町屋町	5強	5.2
古河市	茨城古河市仁連	5強	5.2
龍ヶ崎市	龍ヶ崎市寺後	5強	5.2
下妻市	下妻市本城町	5強	5.2
つくば市	つくば市小荻	5強	5.2
五霞町	五霞町小福田	5強	5.2
境町	境町旭町	5強	5.2
大洗町	大洗町磯浜町	5強	5.1
城里町	城里町徳蔵	5強	5.1
古河市	茨城古河市下大野	5強	5.1
八千代町	八千代町菅谷	5強	5.1

表10 続き		震度	計測震度
市町村名	観測点名		
坂東市	坂東市岩井	5強	5.1
常陸太田市	常陸太田市大中町	5強	5.0
牛久市	牛久市中央	5強	5.0
守谷市	守谷市大柏	5強	5.0
坂東市	坂東市役所	5強	5.0
神栖市	神栖市波崎	5強	5.0
利根町	利根町布川	5弱	4.9
古河市	茨城古河市長谷町	5弱	4.8



図Ⅱ.1.3-6 3月11日14時46分に発生した本震 (M9.0, 最大震度7) の市町村ごとの震度分布

表 II. 1. 3-3の中で、銚田市当間の観測点については、気象庁が現地調査を行い、震度計の設置状況に異常がないことを確認しているが、近傍の観測点との震度の差が2階級あり、地域代表性という観点から、防災対応のトリガーとして用いることは不適切と判断し、地震情報への活用を停止した。このことより、銚田市当間の観測点の記録は本検討から除外することとした。

気象庁で公開されている各地の震度データや国立研究開発法人防災科学技術研究所による強震観測網（K-NET/KiK-net）のデータ及び浅部の地盤モデルの震度増分を用いて、東北地方太平洋沖地震の面的震度分布を以下の手順で作成した。

1. 各地の震度データを収集する
2. 各地の震度データを内閣府の手法を基に、工学的基盤相当の震度へ引き戻す
3. Krigingにより面的に補間を行い、250mメッシュの工学的基盤の震度分布を求める
4. 工学的基盤の震度と震動増分を基に、地表震度を求める

液状化危険度判定に用いるために250mメッシュ地表加速度を、以下の手順で作成した。

- ① 東北地方太平洋沖地震の観測された地表の K-NET、KiK-net 波形から PGA データを作成
- ② 藤本・翠川（2006）による AVS30 と加速度増幅率との関係式より、基盤の PGA データに変換

$$\log_{10}(\text{ARA}) = b * \log_{10}(\text{AVS30}/\text{VSbase})$$

$$b = -0.773 \quad (\gamma < 3 * 10^{-4})$$

$$b = 2.042 + 0.799 * \log_{10}(\gamma) \quad (\gamma \geq 3 * 10^{-4})$$

$$\gamma = 0.4 * \text{PGV}_{\text{sur}} / \text{AVS30}$$

ここで、

ARA : 加速度増幅率

AVS30 : 表層 30m の平均 S 波速度 (m/s)

VSbase : 基盤の S 波速度 (m/s)

b : 係数

$\gamma$  : 擬似有効ひずみ

PGV<sub>sur</sub> : 地表最大速度

- ③ Krigingにより面的に補間を行い、250mメッシュ基盤 PGA データを作成
- ④ ②より250mメッシュ加速度増幅率を求め、地表の PGA データに変換

図 II. 1. 3-7に東北地方太平洋沖地震で観測された計測震度を示し、図 II. 1. 3-8に東北地方太平洋沖地震で観測された地表最大加速度の分布を示す。さらに、上記の方法により求めた面的震度分布と地表加速度分布を図 II. 1. 3-9と図 II. 1. 3-10 に示す。

なお、この震度及び加速度分布は、茨城県内の観測記録の計測震度及び最大加速度を補完して県内の分布を求めている。県境付近の観測地点より外側のメッシュは外挿していることから、過小評価している場合があることに注意が必要である。

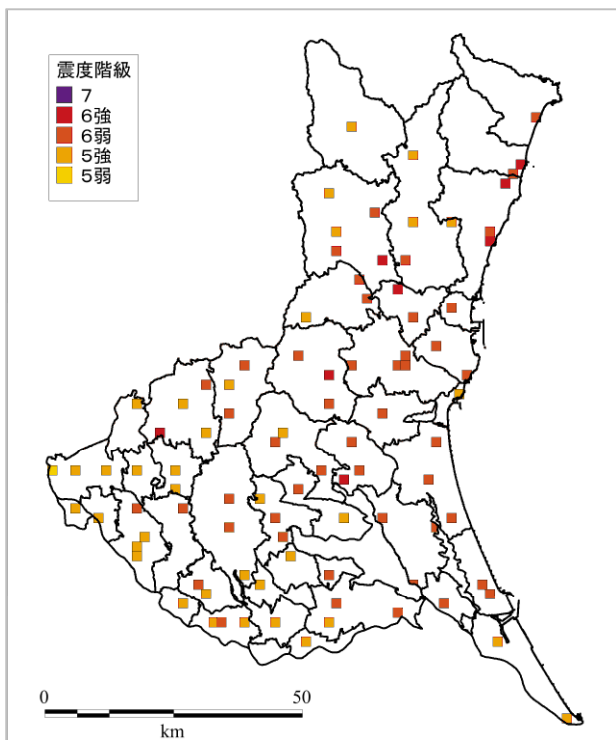


図 II . 1. 3-7 東北地方太平洋沖地震で観測された計測震度

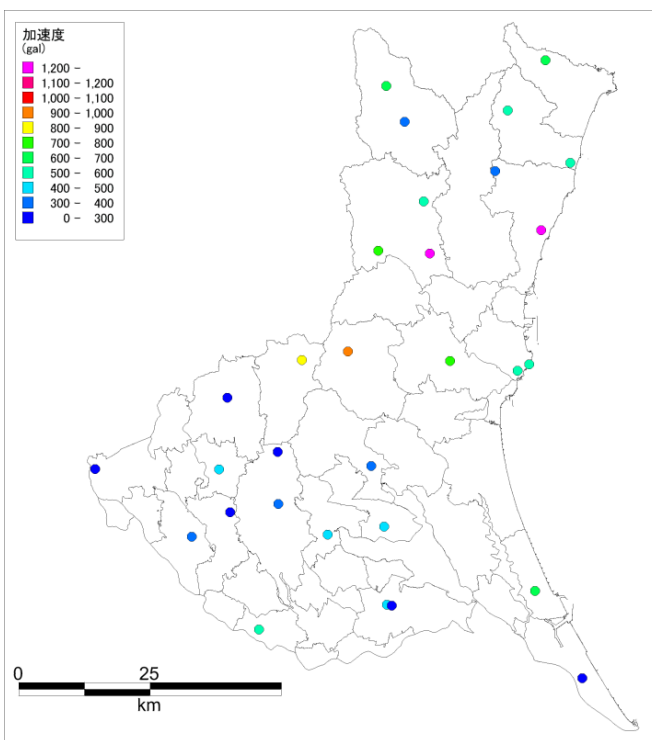


図 II . 1. 3-8 東北地方太平洋沖地震で観測された地表最大加速度

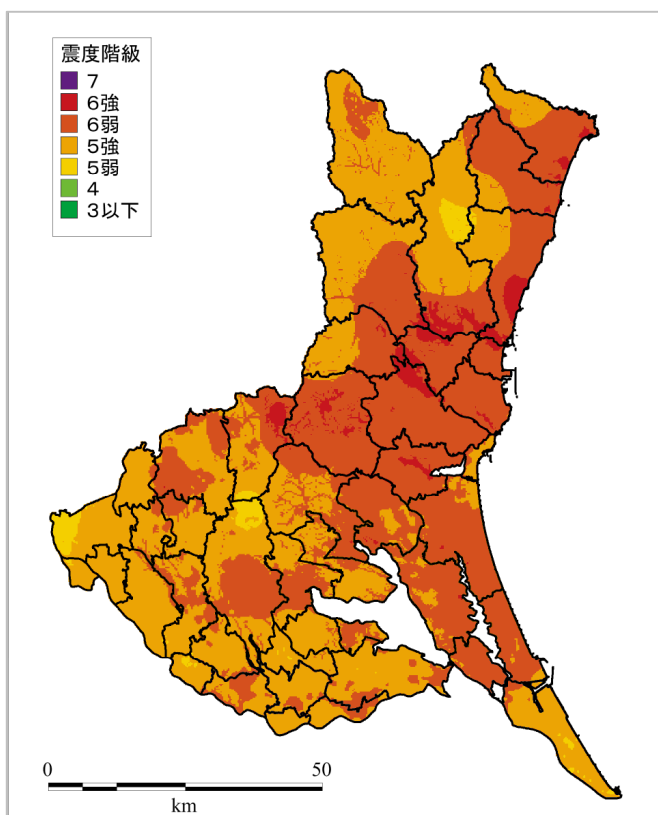


図 II . 1. 3-9 観測された計測震度より求めた面的震度分布

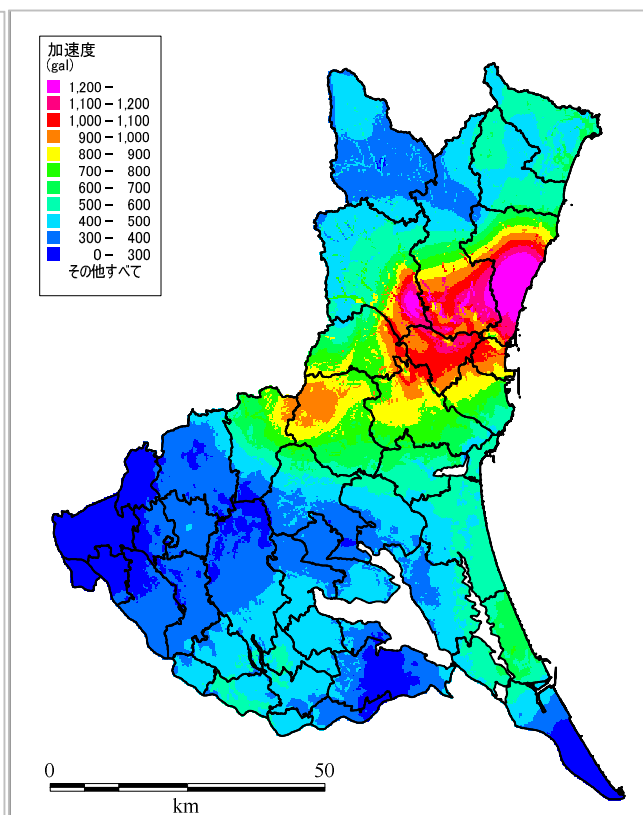


図 II . 1. 3-10 観測された地表最大加速度より求めた面的加速度分布

(2) 相模トラフ沿いの M8 クラスの地震

内閣府(2013)では、現時点の最新の科学的知見に基づきあらゆる可能性を考慮した相模トラフ沿いで発生する最大クラスの巨大地震モデルによる震度分布を検討している。図 II . 1. 3-11 に内閣府(2013)が設定した震源断層モデルを示し、図 II . 1. 3-12 に統計的グリーン関数法により計算した震度分布を示す。

図 II . 1. 3-12 の震度分布にあるように、茨城県北部は震度分布が示されていなかった。そこで、茨城県北部は、内閣府(2013)による震源モデルを用いて簡便法による震度分布を計算し、内閣府(2013)による震度分布があるメッシュは内閣府(2013)による値を、震度分布がないメッシュは簡便法による値を使用する震度分布を作成した。なお、簡便法による計算の際には、地震の規模の情報が必要となるが、内閣府(2013)による震度分布と比較しながら、連続性を考慮した結果、M8.0として計算を行った場合に内閣府による震度分布と違和感がなかった。図 II . 1. 3-13 にこのように求めた震度分布を示す。

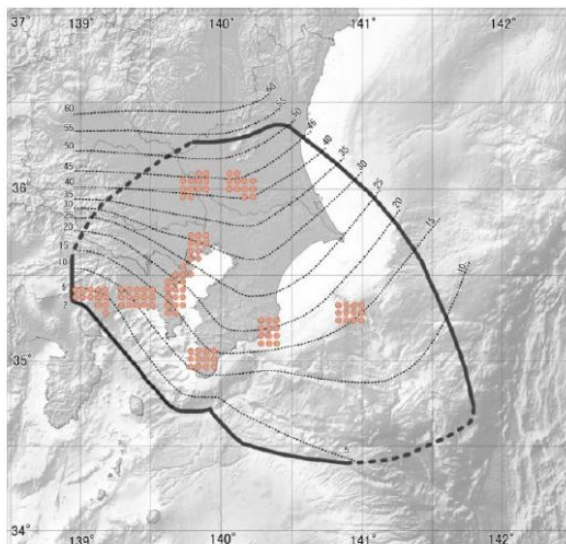


図 II . 1. 3-11 相模トラフ沿いの最大クラスの地震の強震断層モデル  
内閣府(2013)

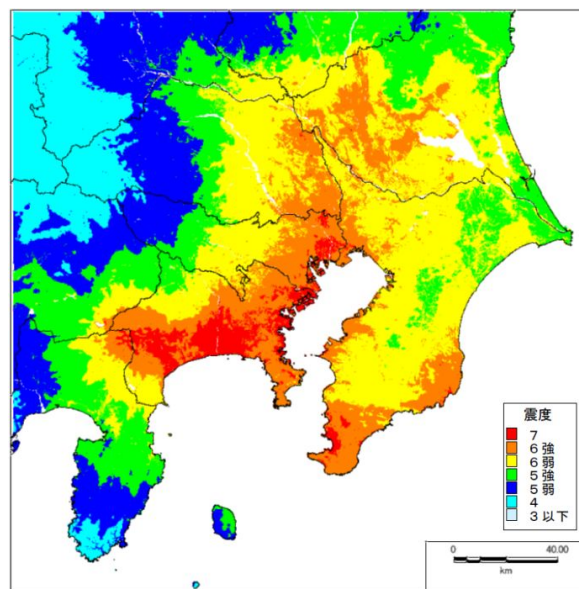
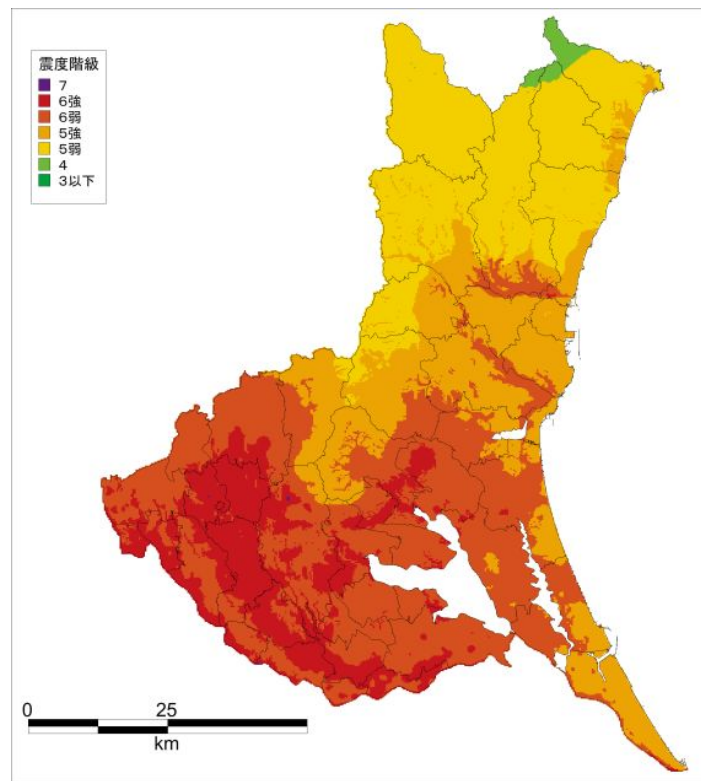


図 II . 1. 3-12 相模トラフ沿いの最大クラスの地震の震度分布  
内閣府(2013)



図Ⅱ . 1. 3-13 内閣府(2013)による震度分布と同震源モデルを用いて簡便法により求めた震度分布を合成した震度分布図



(3) 地殻内に一律に Mw6.8 の震源を想定した場合の震度分布

内閣府(2005)では、耐震化等の各種の地震防災の‘予防対策’を具体的に検討するために、想定される地震の全てに漏れなく対応できる対策とすることが望まれる、として活断層以外の地殻内の浅いところで発生するM 6.9 (Mw6.6) の地震を全ての地域で発生する可能性があるとして取り扱うこととし経験的手法を用いて、震度分布を求めている。

さらに、内閣府(2013)では、地表断層が不明瞭な地震の規模の上限について、内陸で発生した最近の地震について調査結果を整理し、Mw6.8 に設定した。

表 I . 2. 3-1で示した茨城県で備えるべき想定地震については、地震発生時の応急対策等を検討するために、地震発生場所を特定し、震度分布等を検討した。しかし、実際には地震の発生場所を特定するのは困難であり、どこで発生するかわからないことから、内閣府 ( 2005, 2013 ) で検討した予防対策用の地震を設定することとした。

そこで、内閣府(2013)で検討した地殻内に一律にMw6.8 の震源を想定した場合の震度分布を求めた。予測方法は、250mメッシュの直下に断層上端の深さ 5km もしくは地震基盤+ 2km より深い方の深さに Mw6.8 の震源を置き、簡便法 ( 距離減衰式に基づく方法 ) により地表の震度を求めた。

図 II . 1. 3-14 に地殻内に一律にMw6.8 の震源を想定した場合の震度分布を示す。茨城県内全域で震度6弱以上となっている。小貝川、鬼怒川、利根川、久慈川、涸沼などでの周辺で震度7となっている。

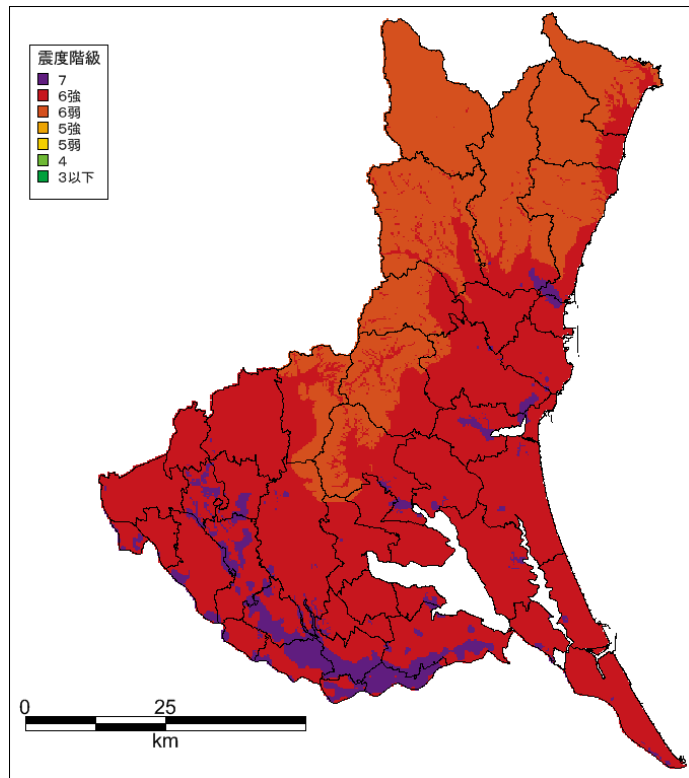


図 II . 1. 3-14 地殻内に一律にMw6.8 の震源を想定した場合の震度分布